

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПОДГОТОВКИ ШИХТЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРАТА

Зобнин Б.Б., Ажипа И.А., Горбенко О.А.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»,  
г. Екатеринбург, Россия

*С использованием разработанной имитационной модели технологического комплекса подготовки шихты для производства агломерата выполнено исследование факторов, влияющих на стабилизацию качества шихты. Предложено строить модель предметной области с использованием онтологии, позволяющей избежать противоречий при определении типа иерархии классов. Предложено также использовать оригинальную процедуру идентификации средневзвешенных значений содержания химических элементов и оксидов в емкости усреднения, а также использовать для моделирования возникающих нештатных ситуаций мультиагентный подход.*

*Ключевые слова:* имитационная модель, стабилизация качества шихты, онтологии, мультиагентный подход.

*With the developed simulation model of technological complex of charge preparation for the production of sinter used to study the factors affecting the stabilization of the quality of the charge. Proposed to build a domain model using ontology that allows to avoid contradictions in determining the type of the class hierarchy. Also invited to use the original identification procedure for weighted average value of the content of chemical elements and oxides in the capacity of averaging, as well as be used to simulate emergency situations arising multiagent approach.*

Необходимым условием повышения эффективности металлургических процессов является обеспечение более высокой стабильности качественных характеристик шихты по сравнению с существующими показателями.

Обеспечение конкурентоспособности существующих металлургических предприятий России требует их коренной модернизации, начиная с процессов подготовки металлургического сырья к плавке.

Фактически колебания содержания Fe в рудной смеси, поступающей в агломерацию, составляют 1,5–2 %. Если выйти на уровень общемировых достижений по стабильности химического состава рудного сырья, то можно снизить расход топлива в агломерации и доменном производстве минимум на 7–10 %. Повышение стабильности состава рудного сырья достигается путем управления риском – количественной мерой опасности, определяемой как вероятность нежелательного опасного события с обозначенными последствиями, которое может произойти в течение определенного промежутка времени [1].

Среди зарубежных крупных компаний, занимающихся автоматизацией процесса рудоподготовки, можно выделить немецкую компанию Siemens, швейцарскую компанию ABB Switzerland Ltd, финскую компанию Outotec. Основным в решении Simine<sup>CIS</sup> MAQ является модуль мониторинга материалов (Material Tracking), который наносит на карту весь маршрут движения

материалов, от их поступления до отгрузки. Модуль управления штабелем интегрирует данные со штабелей и бункеров в единый поток материалов. Его центральная функция заключается в прорисовке контура штабеля и качества содержащихся в нем компонентов на основе оперативных технологических данных.

В настоящее время большое внимание уделяется автоматизации контроля и управления технологическими процессами в условиях нештатных и аварийных ситуаций. Но уровень их сложности настолько высок, что оператор физически не в состоянии быстро и адекватно отреагировать на опасные ситуации и тем более их спрогнозировать.

Для процессов смесеприготовления характерно возникновение конфликтных ситуаций, препятствующих формированию гомогенной шихты.

Вероятность возникновения конфликтных ситуаций может быть минимизирована путем выбора сценариев формированию гомогенной шихты в мультиагентных системах.

Вычислительная модель агента является многозадачной. В агенте отдельные задачи (или *поведения*) могут выполняться одновременно. Каждая функциональная возможность и/или сервис, предоставляемый агентом, должны быть реализованы как одно поведение или их набор. Внутренний планировщик, скрытый от разработчика, автоматически управляет планированием поведений. Навязываемое платформой разделение функционала агента на набор поведений позволяет легко распараллелить исполнение независимых поведений. По умолчанию менеджеру поведений каждого агента внутри платформы выделяется свой поток, и все поведения агента выполняются внутри этого потока. Для большого количества простых поведений такая политика распределения ресурсов подходит лучше в том смысле, что переключение поведений внутри одного потока происходит быстрее, чем переключение множества слабо загруженных потоков [2].

Цель выполняемого исследования заключается в разработке новых методов и алгоритмов контроля и управления сложными нестационарными технологическими комплексами смесеприготовления с использованием имитационного моделирования.

Основой выбора сценариев развития технологического комплекса является имитационная модель (ИМ), позволяющая в оперативном плане минимизировать риск нарушений технологического процесса, а в стратегическом плане – выбрать наиболее рациональный комплекс сценариев развития рудоподготовительного комплекса.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. С использованием онтологии построить модель предметной области, позволяющей интегрировать разнородные информационные ресурсы на концептуальном уровне.
2. Разработка структуры имитационной модели технологического комплекса подготовки шихты для производства агломерата.
3. Разработка способа идентификации коэффициента передачи динамического звена, описывающего изменения средневзвешенных значений содержаний химических элементов и оксидов в емкости усреднения в процессе ее заполнения.

4. Разработать программное обеспечение интеллектуальной системы управления процессом рудоподготовки и диагностики процесса формирования штабеля с использованием среды многоагентного моделирования NetLogo.

5. Моделирование процесса формирования штабеля с использованием имитационной модели.

6. Интерпретация результатов моделирования.

Модель предметной области предложено строить с использованием онтологии, способствующей интеграции разнородных информационных ресурсов на концептуальном уровне. Под онтологией понимается структура в виде графа или сети, состоящая из набора концептов (классов), набора бинарных связей между концептами и набора экземпляров классов – записей, соответствующих классам или отношениям. Благодаря онтологии пользователь будет получать ресурсы, семантически релевантные запросам. Визуализация онтологии позволяет посетителю Web-ресурса видеть связь между различными материалами на нем и облегчает навигацию по portalу [3].

ИМ представляет собой особый способ исследования объектов сложной структуры, заключающийся в воспроизведении численным образом всех входных и выходных переменных каждого элемента объекта. ИМ позволяет учесть не только статические взаимосвязи между элементами системы, но и динамические аспекты функционирования технологического комплекса.

Использование ИМ требует проведения вычислительных экспериментов с целью оценки ее адекватности, устойчивости результатов имитации и чувствительности ИМ к изменениям управляющих и возмущающих воздействий.

При имитационном моделировании должны быть предусмотрены средства автоматизации представления и интерпретации результатов моделирования, а также возможность управления имитационным экспериментом и сбора статистики в процессе моделирования, наличие средств отладки и диагностики.

Цель имитационного эксперимента – проверка применимости предложенных моделей, методов и выбранных инструментальных средств для решения задачи.

Имитационная модель построена при следующих допущениях.

1. Известны сменные задания по каждому  $k$ -му классу железорудного сырья и соотношения грубые/тонкие.

2. Известен график перевозки на склад концентратов в течение смены.

3. Известна общая масса материала  $k$ -го класса в вертушке, содержание компонента в  $k$ -м классе материала вертушки и время подачи вертушки на узел разгрузки думпкаров.

4. При формировании штабеля происходит расслоение частиц по фракциям, так как более крупные частицы скатываются к основанию формируемого штабеля. Сегрегация материала в процессе формирования штабеля учитывается коэффициентом трения качения частицы по поверхности откоса слоя.

5. Известны параметры штабеля.

Предложено расчет значений коэффициента передачи динамического звена, описывающего изменения средневзвешенных значений содержаний

химических элементов и оксидов в емкости усреднения в процессе ее заполнения производить по формуле [4]:

$$K = (Y_k - Y_{k-1}) / (1 - (Y_{k+1} - Y_k) / (Y_k - Y_{k-1})). \quad (1)$$

При этом расчет массы  $i$ -го сырьевого компонента, поступающего в формируемый штабель за  $(k-1)$ -й,  $k$ -й,  $(k+1)$ -й интервалы времени, производится по формуле:

$$\left. \begin{aligned} S_{Q_i}^{k-1} &= t_0 \cdot \sum_{m=k-1}^k Q_i(t_m), \\ S_{Q_i}^k &= t_0 \cdot \sum_{m=k}^{k+1} Q_i(t_m), \\ S_{Q_i}^{k+1} &= t_0 \cdot \sum_{m=k+1}^{k+2} Q_i(t_m), \end{aligned} \right\}$$

где  $Q_i(t_m)$  – расход  $i$ -го компонента в момент времени  $t_m$ , кг/с;  $t_0$  – интервал квантования, с.

Расчет содержаний химических элементов и оксидов в  $i$ -м сырьевом компоненте, поступающем в штабель за  $(k-1)$ -й,  $k$ -й,  $(k+1)$ -й интервалы времени, производится по формуле:

$$\left. \begin{aligned} S_{v_i}^{k-1} &= t_0 \cdot \sum_{m=k-1}^k v_i(t_m), \\ S_{v_i}^k &= t_0 \cdot \sum_{m=k}^{k+1} v_i(t_m), \\ S_{v_i}^{k+1} &= t_0 \cdot \sum_{m=k+1}^{k+2} v_i(t_m), \end{aligned} \right\}$$

где  $v_{si}^k$  – содержание значение  $s$ -го качественного показателя  $i$ -го входного потока в момент времени  $tm$ , %.

Расчет средневзвешенных значений содержаний химических элементов и оксидов в емкости усреднения за  $(k-1)$ -й,  $k$ -й,  $(k+1)$ -й интервалы времени производится по формуле:

$$\left. \begin{aligned} Y_{k-1} &= \left( \sum_{i=1}^n S_{Q_i}^{k-1} \cdot S_{v_i}^{k-1} \right) / \sum_{i=1}^n S_{Q_i}^{k-1}, \\ Y_k &= \left( \sum_{i=1}^n S_{Q_i}^k \cdot S_{v_i}^k \right) / \sum_{i=1}^n S_{Q_i}^k, \\ Y_{k+1} &= \left( \sum_{i=1}^n S_{Q_i}^{k+1} \cdot S_{v_i}^{k+1} \right) / \sum_{i=1}^n S_{Q_i}^{k+1}, \end{aligned} \right\}$$

Выполнено моделирование процесса формирования штабеля с использованием имитационной модели, включающее в себя исследование зависимости характеристик формируемого штабеля от различных типов нарушений в работе усреднительного комплекса. Получены оценки тенденций изменения контролируемых параметров при нарушениях синхронизации работы усреднительного комплекса, а также определены вклады изменения технологических процессов в возникновение и величину аномальных зон в штабеле. В частности, влияния спектра возмущающего воздействия, обусловленного параметрами импульсной случайной последовательности подачи порций сырья (например, железнодорожных составов) на склад привозных руд на качество усреднения.

#### Список использованных источников

1. Zobnin, B. Expert system for sintering process control based on the information about solid-fuel flow composition / B. Zobnin, S. Yendiyarov, S. Petrushenko // *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, France*. – 2012. – Issue 68. – P. 861–868 (SCOPUS).
2. Zobnin, B.B., Gorbenko, O.A., Sorokin, S. A. (2015). *Tehnologii preobrazovanija nanopylej v nanokompozity. Novye ognepory*, 15, 57–60.
3. Зобнин, Б.Б. Мультиагентные системы. Управление сложными технологическими комплексами / Б.Б. Зобнин, А.В. Вожегов // Lambert Academic Publishing. – 148 с.
4. Патент на изобретение N 2366495 по заявке 2008119863/15(023282) [Текст] / Зобнин Б.Б., Сурин А.А., Головырин С.С., Коротков В.И. – Способ управления процессом смешивания сыпучих компонентов. – Дата подачи заявки 19.05.08